

El efecto de la crisis sobre la volatilidad y el riesgo del IBEX35

Esther Ruiz* y María Rosa Nieto**

*Instituto Flores de Lemus y Dpto. de Estadística, Universidad Carlos III de Madrid

** Dpto. de Estadística, Universidad Carlos III de Madrid

22 de Febrero 2010

En este artículo analizamos la evolución de la volatilidad y el riesgo asociados a los rendimientos diarios del IBEX35 desde 2007 hasta 2009. Tanto la volatilidad como el riesgo han experimentado grandes aumentos coincidiendo con la crisis por lo que podrían considerarse como indicadores de la misma. Además, analizamos la robustez de los modelos econométricos utilizados para la estimación de la volatilidad y el riesgo frente a la crisis y observamos que dichos modelos no han sufrido grandes modificaciones durante el periodo de tiempo analizado.

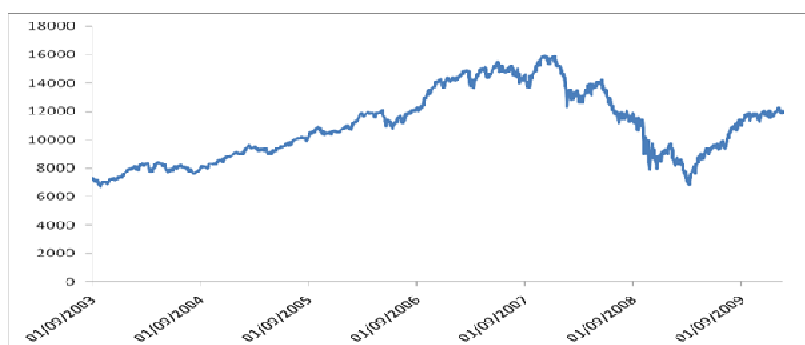
1. Introducción.

La evolución de la incertidumbre y del riesgo en los mercados financieros es objeto de interés fundamentalmente desde la aparición de la crisis financiera en el último trimestre de 2008. La incertidumbre asociada con el rendimiento de un determinado activo financiero suele conocerse popularmente como volatilidad. Es importante aclarar en primer lugar que la volatilidad no es una cantidad tangible de la que podamos obtener observaciones. La volatilidad es una medida de la dispersión de los rendimientos de un activo financiero alrededor del rendimiento medio. Pero como tal medida puede obtenerse de distintas formas. Algo similar sucede con el riesgo financiero que no puede ser directamente observado. Aunque a veces se confunden, volatilidad y riesgo no son la misma cosa. Se produce volatilidad siempre que el rendimiento se desvía del rendimiento medio pero esta desviación puede ser positiva o negativa y, en general, solo hablamos de riesgo cuando

nos referimos a rendimientos negativos. Dado que ni la volatilidad ni el riesgo pueden observarse directamente, en la práctica, existen diversas definiciones y diferentes formas de medir ambas cantidades. En esta nota vamos a centrarnos en medidas de volatilidad y riesgo que se obtienen a partir de modelos econométricos. En concreto, analizaremos la evolución de la volatilidad y el riesgo del índice de la Bolsa de Madrid, IBEX35, observado diariamente al cierre desde 1/9/2003 hasta 19/1/2009. El primer objetivo de esta nota es analizar la robustez de los modelos utilizados para representar la evolución dinámica de la volatilidad y del riesgo ante la crisis financiera. En particular, analizaremos si las características del modelo han cambiado con posterioridad al comienzo de la crisis y si los valores de los parámetros de dichos modelos han sido o no constantes durante el periodo de tiempo analizado. Además de analizar los efectos de la crisis sobre los modelos, también analizaremos la evolución dinámica de las estimaciones de volatilidad y riesgo obtenidos.

Vamos a centrarnos en medidas de volatilidad y riesgo que se obtienen a partir de modelos econométricos. En concreto, analizaremos la evolución de la volatilidad y el riesgo del índice de la Bolsa de Madrid, IBEX35, observado diariamente al cierre desde 1/9/2003 hasta 19/1/2009.

Figura 1. Precios diarios del IBEX35 desde 1/9/2003 hasta 19/1/2010



Teniendo en cuenta que los rendimientos diarios tienen una media aproximadamente igual a cero a lo largo del periodo analizado, la dependencia en la volatilidad se traduce en el hecho de que la desviación de los rendimientos alrededor de su media, es decir, los valores absolutos de los rendimientos están autocorrelacionados.

Existe una respuesta distinta de la volatilidad dependiendo de que los rendimientos en el pasado sean positivos o negativos. Como es de esperar, una caída de los precios y, por lo tanto, un rendimiento negativo, provoca una variación mayor en la volatilidad que un incremento de los precios, y por lo tanto un rendimiento positivo, de la misma magnitud.

2. Características empíricas del IBEX35.

Una afirmación generalizada en la prensa especializada es que a lo largo de los dos últimos años se han producido incrementos en la volatilidad de los mercados financieros que son evidentes al observar la evolución temporal de los rendimientos de cualquier variable financiera, es decir, el incremento relativo de su precio entre dos observaciones consecutivas. Consideremos la evolución del IBEX35, que aparece representada en el gráfico 1 en el que puede observarse una clara caída de los precios desde mediados de diciembre de 2007 con una ligera recuperación a partir del primer trimestre de 2009. Sin embargo, como hemos comentado anteriormente, la volatilidad y el riesgo son conceptos asociados no a los precios sino a los rendimientos diarios que aparecen representados en el gráfico 2.

En el gráfico 2 puede observarse el incremento de la volatilidad generado durante los dos últimos años desde que la crisis financiera fue ampliamente reconocida. Además, también puede observarse un fenómeno conocido como "agrupamiento de la volatilidad" según el cual días en los que la incertidumbre en el mercado es elevada son habitualmente seguidos por otros días de incertidumbre elevada, mientras que en otros momentos la dispersión de los rendimientos alrededor de su media es menor. Este agrupamiento de la volatilidad es consecuencia de una dependencia temporal de la volatilidad diaria. Teniendo en cuenta que los rendimientos diarios tienen una media aproximadamente igual a cero a lo largo del periodo analizado, la dependencia en la volatilidad se traduce en el hecho de que la desviación de los rendimientos alrededor de su media, es decir, los valores absolutos de los rendimientos están autocorrelacionados. Las autocorrelaciones entre los rendimientos absolutos, es decir la correlación entre $|y_t|$ y $|y_{t-h}|$, donde y_t representa el rendimiento correspondiente al día t , aparecen representadas en el gráfico 3 para los retardos $h=1,...,100$. En dicho gráfico puede observarse que las autocorrelaciones de los rendimientos absolutos con los propios rendimientos absolutos pasados son positivas y muy persistentes, lo que puede interpretarse como que los

shocks a la volatilidad persisten durante largos periodos de tiempo.

Otra característica de los rendimientos diarios del IBEX35 durante el periodo considerado es que existe una respuesta distinta de la volatilidad dependiendo de que los rendimientos en el pasado sean positivos o negativos. Como es de esperar, una caída de los precios y, por lo tanto, un rendimiento negativo, provoca una variación mayor en la volatilidad que un incremento de los precios, y por lo tanto un rendimiento positivo, de la misma magnitud. Este efecto aparece reflejado en el gráfico 4 donde se representa la correlación existente entre los rendimientos del IBEX35, y_t , y y_{t+h}^2 los rendimientos cuadrados futuros, que son una medida de la varianza y, por lo tanto de la volatilidad, para $h=1,...,100$. Estas correlaciones son negativas especialmente en los primeros retardos, lo que implica que cuando se produce un rendimiento negativo esperamos en media incrementos mayores de los rendimientos cuadrados, es decir, de la volatilidad, que cuando el rendimiento es negativo.

La tercera característica empírica de los rendimientos del IBEX35 que puede observarse en el gráfico 1 es que existe un número relativamente grande de rendimientos extremos, positivos o negativos, alejados del valor medio. Esta característica refleja que los rendimientos diarios no pueden ser representados mediante una distribución Normal, sino que es necesario asumir distribuciones que tengan colas anchas donde la probabilidad de obtener valores extremos es mayor que la de la Normal. En la figura 5 aparece representado el histograma de los rendimientos junto con la densidad Normal correspondiente a la media y la varianza estimadas de los rendimientos. Esta figura muestra que la cola izquierda de la distribución de los rendimientos, es decir, la cola correspondiente a rendimientos negativos es más ancha que la de la Normal. En consecuencia, vamos a tener más rendimientos negativos que los que esperaríamos si la distribución fuera Normal. En la cola derecha de la distribución, es decir, la correspondiente a rendimientos positivos, este efecto es mucho menor. El coeficiente de asimetría de la distribución de los rendimientos es -0.14 indicando que existe mayor probabilidad de obtener rendimien-



tos negativos que positivos. La curtosis representa la medida asociada a la presencia de valores extremos. Cuando una variable se distribuye con una distribución Normal, la curtosis es 3 y este el el valor

que se suele tomar a menudo como referencia. En el caso del IBEX35 dicha curtosis es 12.22 claramente mayor que si la distribución de los rendimientos fuera Normal.

Figura 2. Rendimientos diarios del IBEX35 observados desde 2/9/2003 hasta 19/1/2010

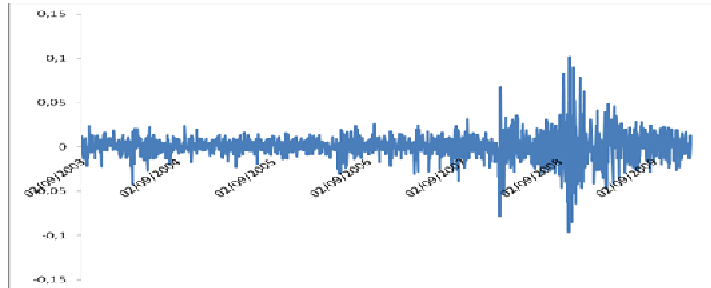


Figura 3. Autocorrelaciones de los rendimientos absolutos del IBEX35 observados diariamente desde 2/9/2003 hasta 19/1/2010

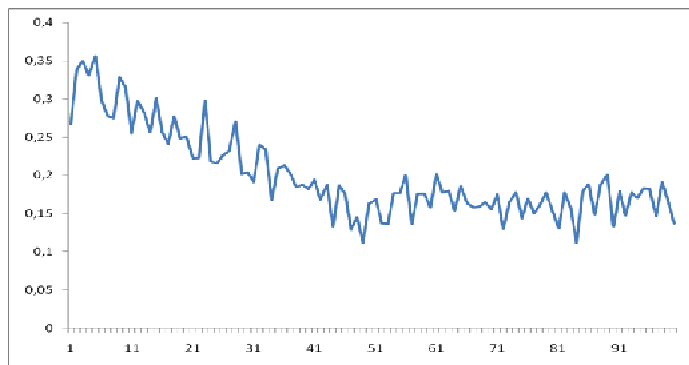


Figura 4. Correlaciones cruzadas entre rendimientos y rendimientos cuadrados futuros.

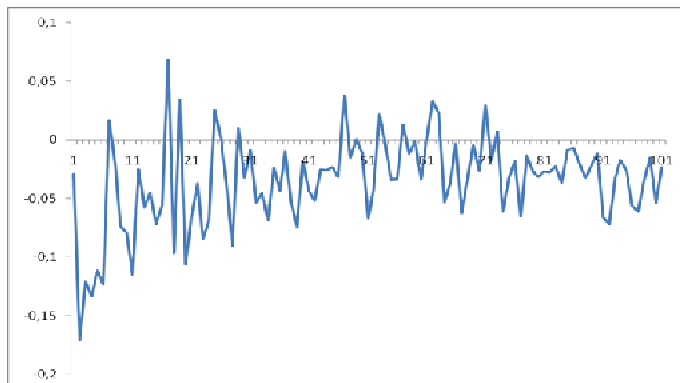
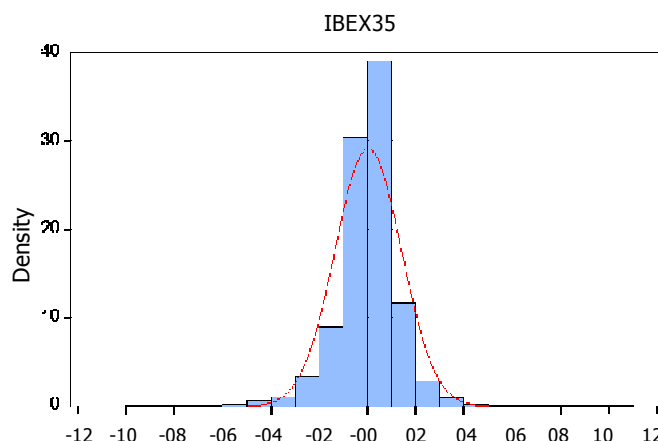


Figura 5. Histograma y densidad Normal de los rendimientos diarios del IBEX35 observados desde 2/1/2003 hasta 19/1/2010.



Los rendimientos diarios no pueden ser representados mediante una distribución Normal, sino que es necesario asumir distribuciones que tengan colas anchas donde la probabilidad de obtener valores extremos es mayor que la de la Normal.

Vamos a tener más rendimientos negativos que los que esperaríamos si la distribución fuera Normal.



Los rendimientos diarios del IBEX 35 correspondientes al periodo 2/1/2003 hasta 19/1/2010, al igual que otras muchas series de rendimientos financieros, tienen autocorrelaciones de los valores absolutos positivas y persistentes, correlaciones de los rendimientos con volatilidades futuras negativamente correlacionados y exceso de curtosis, es decir, una distribución no Normal con colas anchas.

3. Un modelo para representar la volatilidad.

En resumen, los rendimientos diarios del IBEX 35 correspondientes al periodo 2/1/2003 hasta 19/1/2010, al igual que otras muchas series de rendimientos financieros, tienen autocorrelaciones de los valores absolutos positivas y persistentes, correlaciones de los rendimientos con volatilidades futuras negativamente correlacionados y exceso de curtosis, es decir, una distribución no Normal con colas anchas. Un modelo muy popular en la literatura econométrica y que ha demostrado su adecuación para representar estas tres características es el modelo EGARCH (Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity) que, en su versión más sencilla viene dado por:

$$y_t = \varepsilon_t \sigma_t$$

$$\log \sigma_t^2 = \omega + \beta \log \sigma_{t-1}^2 + \alpha [\varepsilon_{t-1} - E(\varepsilon_{t-1})] + \gamma \varepsilon_{t-1}$$

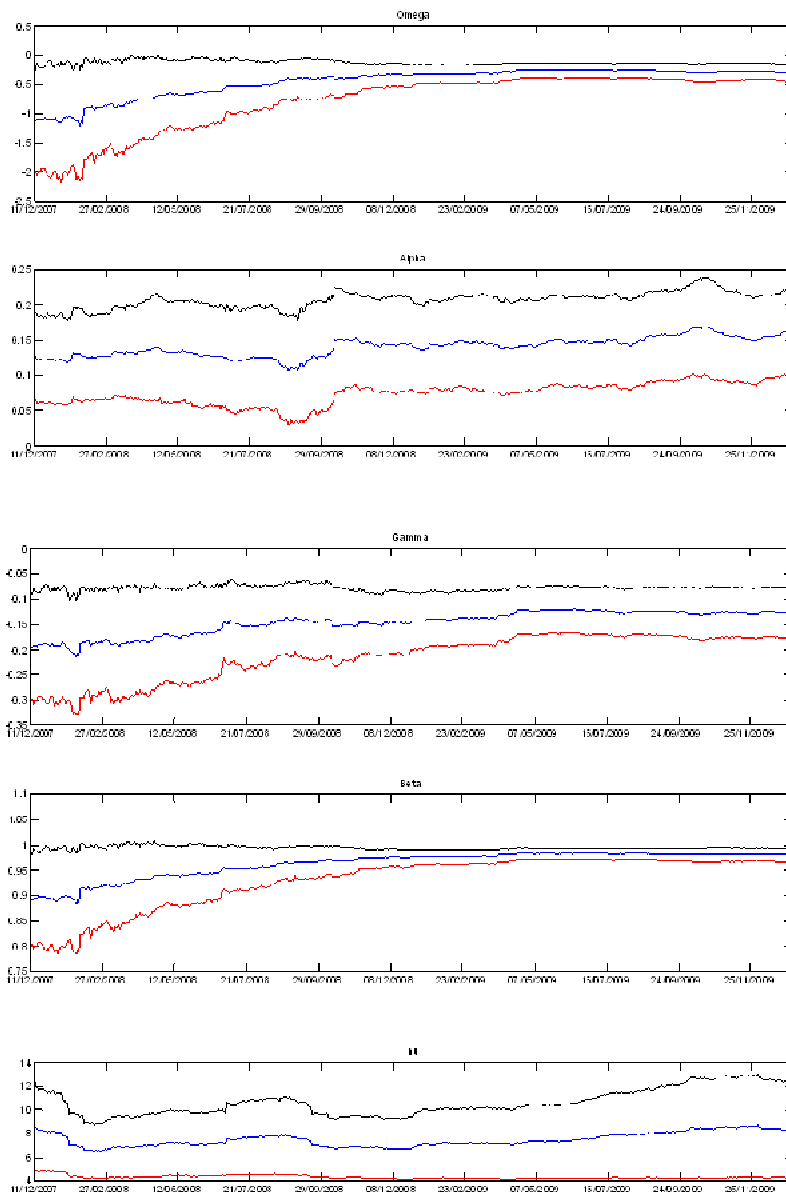
donde, como hemos mencionado anteriormente, y_t es el rendimiento diario correspondiente al día t , σ_t es la volatilidad de dicho día y ε_t es una perturbación o shock serialmente independiente cuya distribución tiene media cero y varianza 1. El modelo EGARCH tiene 4 parámetros que interpretamos a continuación. El primero, ω , está relacionado con la volatilidad media de los rendimientos diarios a lo largo del periodo analizado, lo que se conoce como varianza marginal. El segundo parámetro, α , mide la dependencia temporal de la volatilidad que aparecía reflejada en las correlaciones de los rendimientos absolutos. Otro parámetro del modelo es γ que está relacionado con la respuesta asimétrica de la volatilidad ante rendimientos negativos y positivos. Finalmente, el parámetro β está relacionado con la persistencia de los shocks a la volatilidad. Cuanto más cerca está de 1 dicho parámetro, más tiempo afectan los shocks a la volatilidad. El modelo EGARCH representa la evolución temporal de la volatilidad pero para describir completamente cuál es la distribución de los rendimientos diarios es necesario hacer además un supuesto sobre la distribución de probabilidad de los rendimientos de un día concreto dada la historia pasada de los rendimientos, es decir, tenemos que asumir una determinada distribución para ε_t . Vamos a suponer que tal distribución es del tipo Student con

v grados de libertad. Cuanto mayores sean los grados de libertad, más cerca está la distribución Student de la Normal. Cuando los grados de libertad son relativamente pequeños, la distribución Student tiene colas anchas y, por lo tanto, curtosis mayores que 3. Los grados de libertad de la distribución Student es el quinto parámetro estimado en el modelo EGARCH.

La primera cuestión que nos planteamos es como ha afectado la crisis financiera al modelo que representa la evolución dinámica de la volatilidad a lo largo de los dos últimos años. Primero queremos saber si las estimaciones de sus parámetros se han mantenido aproximadamente constantes a lo largo del tiempo y después si el modelo es adecuado a lo largo de dicho periodo. En relación al primer punto, es decir, para investigar si las estimaciones de los cinco parámetros se han mantenido constantes a lo largo del tiempo, ajustamos el modelo EGARCH estimándolo con datos hasta 11/12/2007. Después se elimina la primera observación en la muestra y se añade una nueva observación al final hasta llegar a 19/1/2010. Las estimaciones de los parámetros obtenidas aparecen representadas en el gráfico 6 junto con las correspondientes bandas de confianza del 95%. Observando este gráfico, podemos concluir que los parámetros α , γ y v no han sufrido alteraciones significativas desde diciembre de 2007 manteniéndose aproximadamente constantes a lo largo de 2008 y 2009. Sin embargo, los parámetros ω y β han experimentado un incremento paulatino a lo largo de dichos años que implica un incremento en la volatilidad media del mercado junto con mayor persistencia de los shocks de volatilidad. El parámetro β ha pasado de estar justo por debajo de 0.9 en diciembre de 2007 a estar muy cerca de 1, lo que implicaría que la volatilidad media no es constante. En cualquier caso, es importante notar que las bandas de confianza de los cinco parámetros del modelo EGARCH contienen rectas por lo que la conclusión es que los parámetros del modelo no han variado significativamente a lo largo del periodo muestral considerado.



Figura 6. Estimaciones de los parámetros del modelo EGARCH desde 11/12/2007 hasta 19/1/2010



Si el modelo es adecuado para representar la evolución dinámica de la volatilidad, σ_t , entonces los residuos cuadrados no deben tener ninguna autocorrelación temporal distinta de cero y, además, no deben estar correlacionados con residuos en el pasado.

Los residuos deben tener la distribución asumida para las perturbaciones, es decir, una distribución Student con los grados de libertad estimados en cada caso.

En cuanto al análisis sobre si, a lo largo de la crisis, el modelo se ha mantenido adecuado para representar la dependencia temporal de la volatilidad, en cada una de las muestras, una vez estimados los parámetros, se han calculado los residuos estandarizados, es decir, los rendimientos divididos entre la volatilidad estimada,

$$\hat{\varepsilon}_t = y_t / \hat{\sigma}_t$$

Si el modelo es adecuado para representar la evolución dinámica de la volatilidad, σ_t , entonces los residuos cuadrados no deben tener ninguna autocorrelación temporal distinta de cero y, además, no deben estar correlacionados con residuos en el pasado.

Finalmente, los residuos deben tener la distribución asumida para las perturbaciones, es decir, una distribución Student con los grados de libertad estimados en cada caso. Para comprobar si el modelo es adecuado, hemos calculado el estadístico de Box-Ljung de las autocorrelaciones de los cuadrados de dichos residuos para contrastar si dichas autocorrelaciones son significativamente distintas de cero, es decir, si existe dependencia de la volatilidad no explicada por el modelo. También se ha calculado el estadístico de Box-Ljung de las correlaciones cruzadas para saber si el modelo es apropiado para representar la respuesta asimétrica de la volatilidad ante



Durante los tres primeros trimestres de 2008, la respuesta asimétrica de la volatilidad ante rendimientos positivos y negativos no ha sido adecuadamente representada por el modelo EGARCH. Sin embargo, a partir del 4º trimestre de 2008, dicho modelo vuelve a predecir adecuadamente dicha asimetría.

A partir de mayo de 2009 se rechaza la distribución Student y que es necesario asumir distribuciones que suponen un número mayor de rendimientos extremos que las que se venían asumiendo tradicionalmente.

movimientos positivos y negativos de los precios. Finalmente, se ha realizado un contraste para comparar la curtosis de los residuos con la curtosis de la distribución Student estimada. Los resultados de estos contrastes aparecen en los gráficos 7 a 9. El gráfico 7 representa la evolución a lo largo del periodo considerado del ratio entre el estadístico de Box-Ljung de las correlaciones de los cuadrados y su correspondiente valor crítico. Cuando dicho ratio es menor que 1, el modelo describe adecuadamente la dependencia, por lo que el gráfico anterior parece indicar que el modelo EGARCH ha sido adecuado a lo largo de 2008 y 2009 para representar la dependencia entre los rendimientos absolutos que aparecía representada en el gráfico 3.

El gráfico 8 es análogo al anterior pero en relación al estadístico Box-Ljung para las correlaciones entre los rendimientos y los rendimientos cuadrados futuros.

Podemos observar que durante los tres primeros trimestres de 2008, la respuesta asimétrica de la volatilidad ante rendimien-

tos positivos y negativos no ha sido adecuadamente representada por el modelo EGARCH. Sin embargo, a partir del 4º trimestre de 2008, dicho modelo vuelve a predecir adecuadamente dicha asimetría.

Finalmente, el gráfico 9 representa el ratio entre el estadístico para contrastar que la curtosis de los residuos y la curtosis de la distribución estimada en el modelo EGARCH son iguales. En dicho gráfico puede observarse que a partir de mayo de 2009 se rechaza la distribución Student y que es necesario asumir distribuciones que suponen un número mayor de rendimientos extremos que las que se venían asumiendo tradicionalmente. Sin embargo, es importante resaltar que en este último periodo, aunque el ratio del estadístico con su valor crítico es mayor que uno y, por lo tanto se rechaza la distribución Student, dicho ratio es sólo ligeramente superior a 1. Teniendo en cuenta que los contrastes son asintóticos, es decir, válidos en tamaños de muestra muy grandes, no parece que la distribución Student sea rotundamente rechazada.

Figura 7. Ratios entre el estadístico Box-Ljung y su valor crítico para las autocorrelaciones de residuos cuadrados.

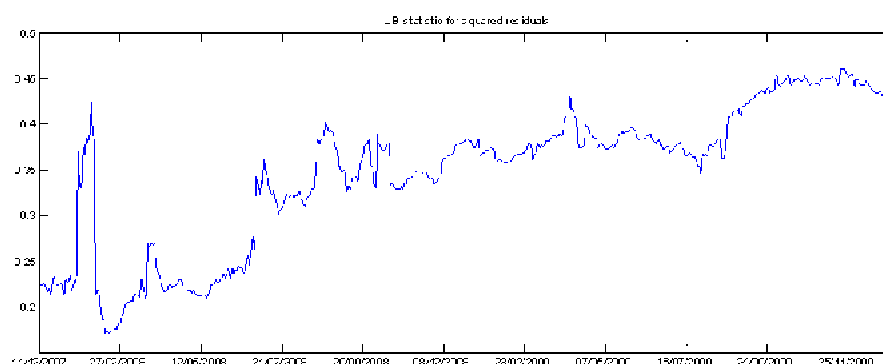


Figura 8. Ratio entre el estadístico Box-Ljung y su valor crítico para las correlaciones entre los residuos cuadrados y residuos.

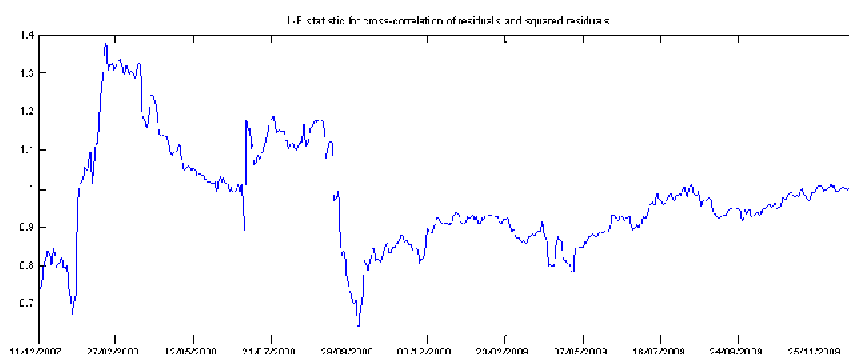
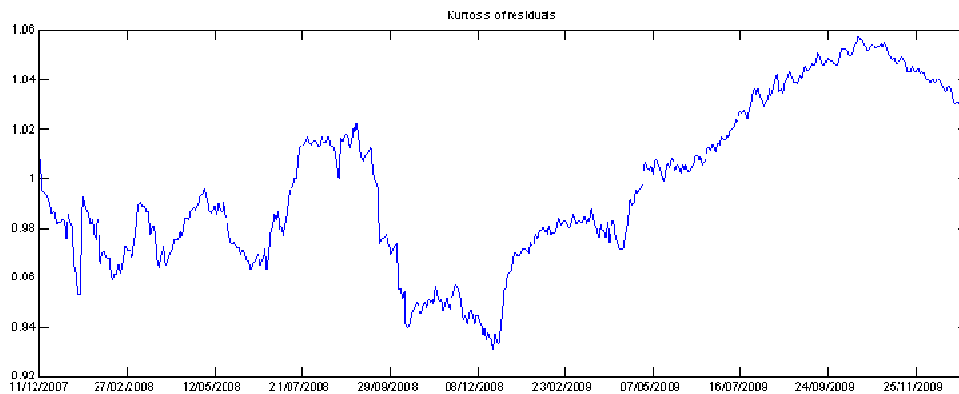


Figura 9. Ratio entre el estadístico para contrastar al igualdad de curtosis muestral de los residuos y la curtosis de la distribución Student estimada.



La volatilidad del mercado se incrementó acusadamente durante el último trimestre de 2008 pero a partir del 2º trimestre de 2009 volvió a niveles similares a los que se estimaban antes de la crisis.

4. La evolución de la volatilidad y el riesgo del IBEX35.

En conclusión, los tres gráficos anteriores apoyan la robustez del modelo EGARCH a lo largo del periodo de crisis para explicar la evolución de la volatilidad. Además, como visto anteriormente, los parámetros de dicho modelo parecen haberse mantenido aproximadamente constantes a lo largo del periodo temporal considerado en esta nota. El modelo EGARCH parece relativamente sólido ante la crisis financiera. Utilizando dicho modelo, a continuación vamos a analizar cómo han cambiado a lo largo de 2008 y 2009 las predicciones diarias de la volatilidad, es decir, de la incertidumbre en el mercado financiero de Madrid, y del riesgo de dicho mercado.

El gráfico 10, que representa las predicciones diarias de la volatilidad, muestra que la volatilidad del mercado se incrementó acusadamente durante el último trimestre de 2008 pero a partir del 2º trimestre de 2009 volvió a niveles similares a los que se estimaban antes de la crisis.

Aunque la volatilidad es un factor muy importante del riesgo del mercado, existen otras medidas más directamente relacionadas con el riesgo. En particular, en este artículo vamos a centrarnos en el VaR (Value at Risk) del 1%, que se define como aquel rendimiento tal que existe una probabilidad del 1% de obtener un rendimiento diario menor que él. El VaR es habitualmente negativo, es decir, una pérdida y cuanto menor sea, más riesgo existirá en el mercado dado que con una

probabilidad del 1% es posible tener pérdidas todavía mayores. Desde el punto de vista probabilístico, el VaR se define como el cuantil 0.01 de la distribución de los rendimientos. Dicha distribución puede obtenerse utilizando procedimientos de remuestreo en el modelo EGARCH estimado anteriormente. Para ilustrar el tipo de distribuciones que se pueden estimar, el gráfico 11 representa las densidades de los rendimientos estimadas para tres días concretos en 2007, 2008 y 2010. En particular, se han representado las densidades de los rendimientos estimadas para los días 12/12/2007 y 12/10/2008 y 19/1/2010. Aunque, con propósitos ilustrativos, hemos elegido estos días concretos, las conclusiones son similares si se comparan otros días de cada uno de los años. El gráfico 11 ilustra que la dispersión de las densidades de los rendimientos alrededor del rendimiento diario medio se ha incrementado claramente cuando comparamos la densidad de los rendimientos del 12/12/2007 con la de los rendimientos del 12/10/2008, pero todavía hay un incremento mayor si comparamos la densidad de los rendimientos de este último día con la de los rendimientos del 19/1/2010.

Evidentemente, estos cambios en las predicciones de las densidades de los rendimientos afectan a las predicciones del VaR y otras medidas de riesgo. A continuación, en el gráfico 12 aparecen representadas, para todo el periodo muestral, las estimaciones del VaR diario del 1% obtenidas a partir de las densidades bootstrap descritas anteriormente.



El gráfico 12 refleja que el VaR, y por lo tanto el riesgo asociado con el IBEX 35, se mantuvo más o menos constante, alrededor del -2%, hasta el tercer trimestre de 2008. En ese momento, el VaR tiene un incremento espectacular, llegándose

puntualmente a valores por encima del -15%. A partir de 2009, el riesgo ha tenido un incremento con respecto al que había durante la primera mitad de 2008, situándose en aproximadamente un -4%.

Hasta el tercer trimestre de 2008, el VaR tiene un incremento espectacular, llegándose puntualmente a valores por encima del -15%. A partir de 2009, el riesgo ha tenido un incremento con respecto al que había durante la primera mitad de 2008, situándose en aproximadamente un -4%.

Figura 10. Predicciones diarias de la volatilidad generadas por el modelo EGARCH.

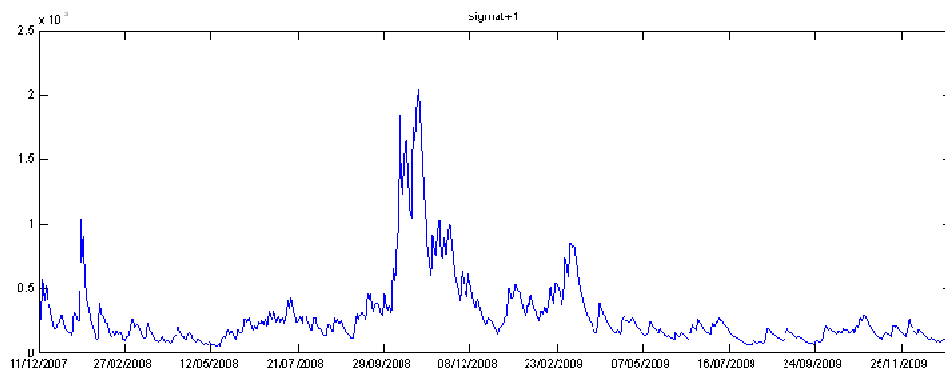


Figura 11. Densidades bootstrap de los rendimientos diarios para tres días seleccionados.

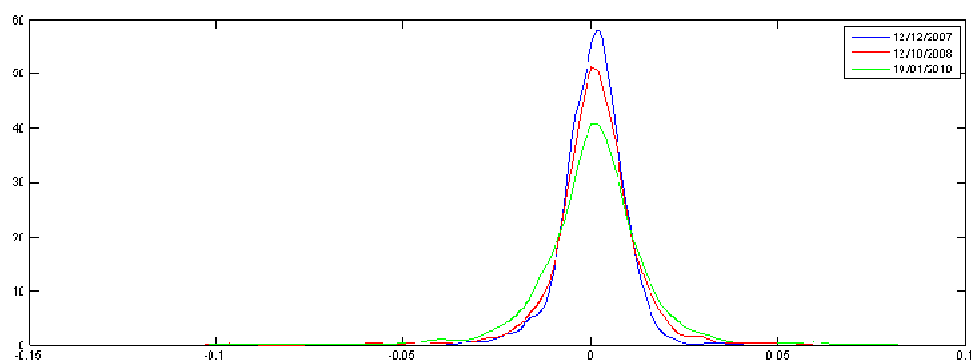
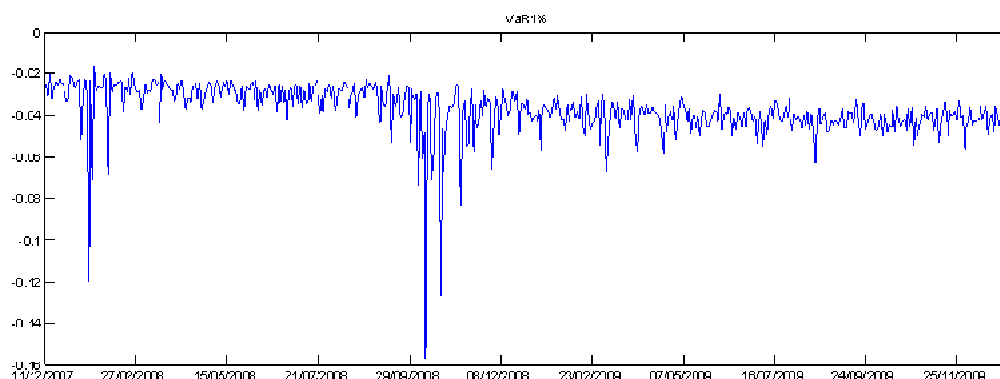


Figura 12. Estimaciones diarias del VaR 1% del IBEX35.



5. Conclusión.

Como conclusión podemos decir que el modelo EGARCH se ha mantenido como un modelo válido para representar la evolución de la volatilidad en el IBEX35 a lo largo de los años 2008 y 2009. Incluso sus parámetros no parecen haber sufrido cambios significativos durante el periodo de crisis financiera. Las estimaciones de volatilidad diaria, es decir, de la incertidumbre asociada con el IBEX35, que se obtienen con el modelo EGARCH, se

incrementaron claramente durante el último trimestre de 2008 y posteriormente han vuelto a niveles similares a los estimados antes de la crisis. Además, también hemos estimado el riesgo asociado al IBEX35 mediante el VaR, observando que dicho riesgo se ha incrementado espectacularmente en el último trimestre de 2008. A partir de entonces, el riesgo en el mercado financiero de Madrid se ha mantenido aproximadamente estable alrededor de valores mayores a los que había con anterioridad a dicho trimestre.

El modelo EGARCH se ha mantenido como un modelo válido para representar la evolución de la volatilidad en el IBEX35 a lo largo de los años 2008 y 2009.

El riesgo en el mercado financiero de Madrid se ha mantenido aproximadamente estable alrededor de valores mayores a los que había con anterioridad a dicho trimestre.

